

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Projektový návrh cementárny

*Cementary Plant Design*

Student:

Bc. Tomáš Slepíčka

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Josef Novák, CSc.

Ostrava 2011

## Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 23.5.2011



.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.

- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).

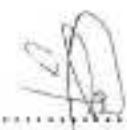
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.

- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 23.5.2014



.....

Děkuji svému vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Josefu Novákovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady a podnětné připomínky při vypracování této práce. Dále bych rád poděkoval firmě PSP Engineering, a.s. za poskytnutí všech potřebných informací pro vypracování praktické části práce.

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Slepíčka**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie  
Specializace: 10 Technologický management  
Téma: **Projektový návrh cementárny**  
**Cementary Plant Design**

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika problematiky
2. Analýza současného stavu
3. Hodnocení současného stavu
4. Vlastní přínos práce

Seznam doporučené odborné literatury:

*Organizace a řízení* [online]. Ostrava: FS, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2008–. [cit.2008-12-14]. URL: <http://www.fs.vsb.cz/euprojekty/414/organizace-a-řízení.pdf>  
NOVÁK, Josef. *Datová základna pro údržbu, montáže a další pomocné a obslužné práce: soubor základních technologických postupů*. Ostrava 2004, 266 s.  
*Ekonomika a řízení provozů* [online]. Ostrava: FS, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2008–. [cit.2008-12-14]. URL: <http://www.fs.vsb.cz/euprojekty/414/ekonomika-a-řízení-provozu.pdf>  
TOMEK, Gustav. VÁVROVÁ, Věra. *Řízení výroby*. Grada Publishing, 1999. 439 s. ISBN 80-7169-578-5  
KOŠTURIÁK, Ján. a kol. *Projektovanie výrobných systémov pre 21. storočie*. Žilina: EDIS 2000, 397 s. ISBN 80-7100-553-3

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Josef Novák, CSc.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



  
prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.  
vedoucí katedry

  
prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

SLEPIČKA, T. *Projektový návrh cementárny*. 2011. 49s. Diplomová práce na Fakultě strojní VŠB-Technické univerzity Ostrava na Katedře mechanické technologie. Vedoucí práce Novák, J.

Tato diplomová práce na téma „Projektový návrh cementárny“ je zaměřena na oblast výroby cementu. Cílem této práce je sestavení celkového plánu cementárny včetně 3D modelu nejen závodu, ale i vybraných provozních souborů. V úvodu je práce zaměřena na pochopení teoretických znalostí a pojmů z dané problematiky, jako např. cement, jeho druhy a technologie výroby. Následně jsou detailně popsány vybrané provozní soubory včetně jejich nejdůležitějších strojů a zařízení. Pro lepší názornost bude využito prostorových modelů. V závěru této práce bude zhodnocen přínos a celková praktická využitelnost vlastního návrhu cementárny.

## **ANNOTATION OF THESIS**

SLEPIČKA, T. *Cementary plant design*. 2011. 49p. Diploma thesis on Faculty of Mechanical Engineering VŠB-TU Ostrava, Czech Republic on Department of Mechanical Technology. Supervisor Novák, J.

This diploma „Cementary plant“ design is focused on producing of cement. The main objective of this thesis is two and three dimensional model of cementary plant. The first part of thesis is focused on teoretical knowledges in the field of cementary industry, such as cement – its kinds, chemical composition and production technology.

In the next chapters are presentated all important production units with their machines and equipments. In the end of this work are discused all records and possibilities of practical usage.

# OBSAH

<b>1. HISTORIE FIRMY PSP/ENG .....</b>	<b>8</b>
<b>2. DEFINICE A ZPŮSOB VÝROBY CEMENTU .....</b>	<b>9</b>
2.1 CEMENT A JEHO SLOŽENÍ .....	9
2.1.1 <i>Chemické složení cementu</i> .....	9
2.1.2 <i>Mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti</i> .....	11
2.2 DRUHY CEMENTŮ .....	12
<b>3. TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY CEMENTU .....</b>	<b>15</b>
3.1 DRCENÍ A JEHO VÝZNAM .....	17
3.2 MLETÍ A JEHO VÝZNAM .....	17
3.3 STROJE PRO ROZMĚLNĚNÍ MATERIÁLU .....	18
<b>4. STROJNÍ ZAŘÍZENÍ VYUŽITÁ PŘI VÝROBĚ CEMENTU .....</b>	<b>20</b>
4.1 DRTIČE LOMOVÉHO KAMENE .....	20
4.1.1 <i>Čelistové drtiče</i> .....	21
4.1.2 <i>Kuželové drtiče</i> .....	23
4.1.3 <i>Válcové drtiče</i> .....	25
4.2 MLÝNY .....	27
4.2.1 <i>Kulové mlýny</i> .....	28
4.2.2 <i>Troubové mlýny</i> .....	30
4.2.3 <i>Tyčové mlýny</i> .....	31
4.2.4 <i>Další typy mlýnů</i> .....	33
4.3 PECNÍ LINKY PRO VÝPAL SLÍNKU .....	33
<b>5. SESTAVENÍ MODELU CEMENTÁRNY .....</b>	<b>37</b>
5.1 ZÁKLADNÍ POŽADAVKY NA CEMENTÁRNU .....	38
5.2 PROVOZNÍ SOUBORY NAVRHOVANÉ CEMENTÁRNY .....	39
<b>6 ZÁVĚR .....</b>	<b>47</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>48</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>49</b>





# ÚVOD

Cement lze v nejširším slova smyslu definovat jako pojivo, neboli látku, která má schopnost tuhnout a vázat tak k sobě nejrůznější další materiály. Kořeny slova cement však sahají až ke starověkým Římanům. Ti zjistili, že smíchají-li sopečný popel (pucolan) s páleným vápnem, vznikne hydraulické pojivo, které nazvali „cementum“. Toto nové pojivo umožnilo vybudování významných inženýrských staveb, mostů, hrází apod. O jeho mimořádné kvalitě svědčí i to, že některé z těchto staveb ještě stojí - např. monolitická kopule Pantheonu v Římě z roku 120 n. l.

V dnešním, užším slova smyslu, lze cement definovat jako práškové hydraulické pojivo, které po smíchání s vodou tuhne a tvrdne. Jeho schopnost pojít k sobě různé materiály se využívá především ve stavebnictví při výrobě betonových a maltových konstrukcí.

Tato diplomová práce je zaměřena na oblast výroby cementu. Byla zpracována na základě podkladů a informací poskytnutých firmou PSP Engineering, a.s. se sídlem v Přerově.

Cílem této práce je vlastní projektový návrh cementárny. V úvodní, teoretické části práce, budou vysvětleny základní pojmy potřebné pro vlastní návrh cementárny, a to především definice pojmů cement, jeho druhy, chemické složení, fyzikální vlastnosti, způsob výroby apod. Následující kapitoly budou věnovány jednotlivým provozním souborům (PS), především jejich zařazení v technologických procesech.

V závěrečné části této diplomové práce bude vytvořen vlastní návrh projektu cementárny. Výsledkem práce je pak 2D a 3D projektový návrh cementárny. V závěru bude zhodnocen přínos a využitelnost výsledků práce.

## 1. HISTORIE FIRMY PSP/ENG

Jak již bylo v úvodu zmíněno, historie výroby cementu sahá až ke starověkým Římanům. V následujících několika odstavcích bude stručně uvedena novodobá historie výroby cementu.

Již v roce 1824 obdržel J. Aspdin patent na výrobu cementu. Právě on byl zakladatelem průmyslové výroby cementu v Anglii. Během dalších 20-ti let se výroba rozšířila ve Francii i Německu. V roce 1860 založilo několik německých šlechticů první cementárnu v Čechách v Bohosudově u Teplic.

Dějiny strojírenství v Přerově sahají až do roku 1852, kdy zde vznikla firma Heinik-Mendl, zabývající se výrobou převodů a třecích spojek. V roce 1951 byly založeny Přerovské strojírný s výrobním programem technologií pro výrobu stavebních hmot a roku 1990 došlo k transformaci této společnosti na společnost akciovou. V roce 1995 vznikla společnost PSP Engineering (PSP/ENG). Ta pak převzala roli významného dodavatele investičních celků na výrobu stavebních hmot a úprav nerostných surovin. V roce 1998 byla k PSP/ENG připojena výrobní divize a tím tak zajištěna možnost komplexního plnění zakázek pomocí vlastních zdrojů.

PSP/ENG je významným dodavatelem strojů a kompletních závodů pro průmysl výroby stavebních hmot. Zabývá se konstrukcí a technologiemi pro výrobu cementáren, vápenek, drtíren a třídíren lomového kamene. Firma dále nabízí pokročilá řešení v oblastech pyroprocessingu (kalcinace, výpal), mletí, drcení a třídění v oblasti dopravy materiálu.

Základem výrobního procesu v PSP/ENG je zpracování projektové a konstrukční dokumentace, zajištění subdodávek a prací, vlastní výroba strojů a zařízení, koordinace průběhu prací, provedení zkušebního provozu a zajištění následných garančních oprav.

Firma také disponuje významnými know-how v oblasti systémů na výpal cementu a vápna – přehřevu, výpalu, chlazení, oblasti mlecích agregátů, vzduchoproudovému tření, třídění a také drticí a třídící techniky.

Celkově lze shrnout, že firma PSP/ENG patří k tradičním výrobcům strojů a zařízení pro mletí materiálů v průmyslu výroby maltovin a také v úpravářenském průmyslu.

## 2. DEFINICE A ZPŮSOB VÝROBY CEMENTU

### 2.1 Cement a jeho složení

Cement je hydraulické pojivo, tj. jemně mletá anorganická látka, která po smíchání s vodou vytváří hmotu, která tuhne a tvrdne v důsledku hydratačních reakcí a procesů, a to jak na vzduchu, tak i pod vodou. Po zatvrdnutí zachovává svoji pevnost a stálost také ve vodě.

Hydraulické tvrdnutí cementu probíhá hlavně v důsledku hydratace vápenatých křemičitanů. Na hydrataci se během tuhnutí mohou podílet i jiné chemické sloučeniny, např. hlinítky. Celkový obsah aktivního CaO (oxidu vápenatého) a aktivního SiO<sub>2</sub> (oxidu křemičitého) musí být v cementu podle normy ČSN EN 197-1 nejméně 50% hmotnosti [1].

#### 2.1.1 Chemické složení cementu

Jak již bylo výše zmíněno, cement se skládá z několika složek. Jeho základním stavebním kamenem jsou portlandský slínek a vápenec. Dalšími složkami, které se v cementu mohou vyskytovat, jsou:

- a) *granulovaná vysokopeční struska,*
- b) *pucolán,*
- c) *popílek,*
- d) *kalcinované břidlice,*
- e) *sádrovec,*
- g) *křemičitý úlet a doplňující složky.*

#### **Portlandský slínek**

Slínek je vyráběn pálením nejméně do slnutí přesně definované směsi, tzv. surovinové moučky, která obsahuje prvky, obvykle vyjádřené jako oxidy CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a také malé množství jiných látek. Základním předpokladem je, že surovinová moučka musí být homogenní.

Dle norem [1] je portlandský slínek definován jako hydraulická látka, která se skládá nejméně ze dvou třetin hmotnosti z křemičitanů vápenatých (3CaO . SiO<sub>2</sub> a 2CaO . SiO<sub>2</sub>). Ve zbytku pak jsou obsaženy slínkové fáze, které obsahují železo, hliník a jiné sloučeniny.

### ***Granulovaná vysokopecní struska***

Tato přísada vzniká rychlým ochlazením struskové taveniny o vhodném složení. Tavenina vzniká při tavení železné rudy ve vysokých pecích. V normách je definováno, že struska musí být nejméně ze dvou třetin hmotnosti sklovitá a při vhodné aktivaci musí vykazovat hydraulické vlastnosti. Dále se struska musí skládat nejméně ze dvou třetin hmotnosti z oxidu vápenatého ( $\text{CaO}$ ), oxidu hořečnatého ( $\text{MgO}$ ) a oxidu křemičitého ( $\text{SiO}_2$ ).

### ***Pucolány***

Pucolány jsou přírodní látky křemičité nebo křemičito-hlinité, popřípadě jejich kombinace. Mají tu vlastnost, že po smíchání s vodou samy netvrdnou, ale jsou-li jemně semlety, reagují za přítomnosti vody za normální teploty s rozpuštěným hydroxidem vápenatým ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) a tvoří tak sloučeniny křemičitanů a hlinitanů vápenatých, které jsou nositeli narůstající pevnosti. Pucolány obsahují tedy v podstatě aktivní oxid křemičitý ( $\text{SiO}_2$ ) a oxid hlinitý ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Ve zbytku pak oxid železitý ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) a jiné.

Pucolány lze rozdělit do dvou skupin, a to na *přírodní* a *přírodní kalcinované pucolány*.

Přírodní pucolány jsou nejčastěji látky vulkanického původu nebo také sedimentární horniny, které vyhovují svým chemickým i mineralogickým složením. Oproti tomu jsou přírodní kalcinované pucolány aktivované tepelnou úpravou.

### ***Popílky***

Popílek je získáván elektrostatickým nebo mechanickým odlučováním prachových částic z kouřových plynů topenišť otápěných práškovým uhlím. Podle norem nesmí být jiný typ popílku při výrobě cementu použit.

Popílek může být buď *křemičitý*, který má pucolánové vlastnosti, nebo *vápenatý* s hydraulickými vlastnostmi.

### ***Kalcinovaná břidlice***

Kalcinované břidlice se vyrábí ve speciální peci při teplotě zhruba  $800^\circ\text{C}$ . Podle složení přírodního materiálu a výrobního postupu obsahuje kalcinovaná břidlice slínkové fáze, především pak dikalciumsilikát a monokalciumsilikát. Obsahuje také malé množství volného oxidu a síranu vápenatého a také oxidu křemičitého.

Vhodně semletá kalcinovaná břidlice musí mít dle EN 196-1 po 28 dnech pevnost v tlaku nejméně 25 MPa. Objemová stálost kalcinované břidlice nesmí být větší než 10 mm.

### ***Vápenec***

Podle normy [1] musí vápenec splňovat následující požadavky:

- a) obsah uhličitanu vápenatého ( $\text{CaCO}_3$ ) musí být nejméně 75% hmotnosti,
- b) obsah jílovitého podílu nesmí být větší než 1,20 g/ 100g a
- c) celkový obsah organického uhlíku (TOC) musí splňovat daná kritéria.

### ***Křemičitý úlet***

Vzniká při redukci křemene vysoké čistoty uhlím v elektrické obloukové peci při výrobě křemičitých nebo ferokřemičitých slitin. Skládá se z velmi jemných kulových částic, které obsahují nejméně 85% hmotnosti amorfního oxidu křemičitého.

### ***Sádrovec***

Síran vápenatý, neboli sádrovec, se přidává k ostatním složkám cementu v průběhu jeho výroby za účelem úpravy tuhnutí.

## **2.1.2 Mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti**

Na úvod této kapitoly je třeba zdůraznit pevnost v tlaku, a to jak *normalizovanou*, tak i *počáteční*. Normalizovaná pevnost cementu je pevnost v tlaku, která je stanovena podle EN 196-1 po 28 dnech. Počáteční pevností se pak rozumí pevnost v tlaku buď po 2, nebo po 7 dnech. V současnosti se rozeznávají tři třídy normalizované pevnosti, a to třída 32,5, třída 42,5 a třída 52,5. Pro počáteční pevnost se pak rozeznávají dvě třídy pro každou třídu pevnosti normalizované. Přehledně jsou uvedeny jednotlivé pevnostní třídy v tab. 1.

Pevnostní třída	Pevnost v tlaku (MPa)			
	počáteční pevnost		normalizovaná pevnost	
	2 dny	7 dnů	28 dnů	
32,5 N	–	$\geq 16$	$\geq 32,5$	$\leq 52,5$
32,5 R	$\geq 10$	–		
42,5 N	$\geq 10$	–	$\geq 42,5$	$\leq 62,5$
42,5 R	$\geq 20$	–		
52,5 N	$\geq 20$	–	$\geq 52,5$	–

Tab. 1 Pevnostní třídy cementu.

Z fyzikálních vlastností je nejpodstatnější počátek tuhnutí. Ten je stanoven podle EN 196-3. Další důležitou vlastností je objemová stálost, opět určená normou, a to EN 196-1.

## 2.2 Druhy cementů

Cement je rozdělen do pěti základních typů, které jsou označeny římskými číslicemi *I* až *V*. Základem všech těchto druhů je tzv. *portlandský slínek*.

Římskou číslicí *I* je označován **portlandský cement**. Ten se vyrábí mletím křemičitého slínku s přísadou sádrovce. Tuhnutí musí být dokončeno do 12 hodin od přidání vody. Používá se k výrobě betonových konstrukcí, je vhodný do prostředí s nízkou teplotou + 5 °C, avšak není vhodný pro výrobu betonu objemových konstrukcí.

Jako *cement II* je označován **cement struskoportlandský**. Vyrábí se semletím křemičitého slínku, sádrovce a vysokopecní granulované strusky (až 35%). Čím více strusky obsahuje, tím odolnější je proti agresivním vodám. Tento druh cementu se používá k betonáži všech běžných konstrukcí, na hodně namáhané konstrukce. Je také velmi vhodný pro technologii propařování a autoklávování.

*Cement III* je označován jako **vysokopecní cement**. Vyrábí se semletím portlandského slínku, sádrovce a vysokopecní strusky (až 80%). Je vyráběn ve třídách pevnosti 32,5. Je určen převážně k použití pro základy v mírně agresivním prostředí, betonových trub, poklopů, na málo namáhané železobetonové a masivní konstrukce. Není vhodný pro betonování tenkostěnných konstrukcí a za snížených teplot.

**Pucolánový cement** je *cementem IV*. Vyrábí se mletím portlandského slínku a pucolánu. Má velmi dobré hydraulické vlastnosti, použít ho lze stejně jako vysokopecní cement, je také odolný mořské vodě.

*Cementem V* je tzv. **směsný cement**. Vyrábí se z portlandského slínku a až 80% hydratující látky např. popílku. Odolává horké vodě a mírně agresivnímu prostředí. Tento druh lze použít na chladicí věže, nádrže na vodu, na podlahy nebo cementové potěry.

Všech 5 typů cementů se ještě dále dělí podle obsahu slínku a dalších složek na několik skupin. Všech 27 výrobků skupiny cementů pro obecné použití je uvedeno v [1] (viz tab. 2).

Na závěr této kapitoly je třeba zmínit i speciální typy cementů, a to *cement silniční*, *síranovzdorný*, *hlinitanový* a *stronsnatobarnatý*.

**Cement silniční** je určen pro výrobu komunikací. Ideální pro tyto účely je cement struskoportlandský a portlandský, který má zvýšenou pevnost v tahu a v ohybu ve třídách 6,5-7-7,5 MPa. Silniční cement odolává povětrnostním vlivům a je velmi mrazuvzdorný.

**Síranovzdorný cement** je odolný proti síranům. Tento typ cementu je vhodný do středně agresivního prostředí.

Hlavní složkou **hlinitanového cementu** je bauxit. Tento typ cementu lze použít na opravy, injektážní práce apod. Nesmí se používat na nosné konstrukce, protože ztrácí svoji pevnost. Vyrábí se v pevnostních třídách 42,5 a 52,5 MPa.

V případě **stronsnatobarnatého cementu** je vápník nahrazen baryem nebo stronciem. Tento cement je mimořádně chemicky odolný. Jeho výborné vlastnosti vyniknou v typu použití, a to v chemickém průmyslu, v mořské vodě a na odstínování betonu. Je dovážen nejčastěji z Ruska či Francie.

Hlavní druhy		Označení 27 výrobků (druhy cementů pro obecné použití)	Složení (poměry složek podle hmotnosti) <sup>a)</sup>										
			Hlavní složky										Doplnující složky
			Sílinek	Vysokopecní struska	Křemičitý úlet	Pucolány		Popílky		Kalcinovaná břidlice	Vápenec		
						přírodní	přírodní kalcinované	křemičité	vápenaté		L	LL	
CEM I		Portlandský cement	CEM I	S	D <sup>b)</sup>	P	Q	V	W	T	L	LL	
CEM II	Portlandský struskový cement	CEM II/A-S CEM II/B-S	- 6-20 21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Portlandský cement s křemičitým úletem	CEM II/A-D	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Portlandský pucolánový cement	CEM II/A-P CEM II/B-P CEM II/A-Q CEM II/B-Q	- - - -	- - - -	6-20 21-35 - -	- 6-20 21-35 -	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	0-5 0-5 0-5 0-5	
	Portlandský popílkový cement	CEM II/A-V CEM II/B-V CEM II/A-W CEM II/B-W	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	6-20 21-35 - -	- - 6-20 21-35	- - - -	- - - -	- - - -	0-5 0-5 0-5 0-5	
	Portlandský cement s kalcinovanou břidlicí	CEM II/A-T CEM II/B-T	- 65-79	-	- -	- -	- -	- -	6-20 21-35	- -	- -	-	0-5 0-5
	Portlandský cement s vápencem	CEM II/A-L CEM II/B-L CEM II/A-LL CEM II/B-LL	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	6-20 21-35 - -	- - 6-20 21-35	0-5 0-5 0-5 0-5	
	Portlandský cement směsný <sup>c)</sup>	CEM II/A-M CEM II/B-M	- 65-79	<----->	- -	- -	- -	- -	6-20 21-35	- -	- -	- -	>
	Vysokopecní cement	CEM III/A CEM III/B CEM III/C	36-65 68-80 81-95	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	0-5 0-5 0-5
	CEM IV	Pucolánový cement <sup>d)</sup>	CEM IV/A CEM IV/B	- 45-64	<----->	- -	11-35 36-55	- -	- -	- -	- -	- -	0-5 0-5
	CEM V	Směsný cement <sup>e)</sup>	CEM V/A CEM V/B	18-30 31-50	- -	<----->	18-30 31-50	- -	- -	- -	- -	- -	0-5 0-5

Tab. 2 Druhy cementu pro obecné použití.



### 3. TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY CEMENTU

Hlavním zdrojem materiálu pro výrobu cementu je *vápencový lom*. Prvním úkonem při získávání cementu je odstřel částí vápencových lomů pomocí clonových odstřelů. Poté jsou tyto kusy horniny pomocí pásových dopravníků a zařízení dopraveny do drtíren lomového kamene, ve kterých je hornina upravena na potřebnou velikost. Poté je materiál umístěn na předhomogenizační skládky (PHS). Z PHS je dopraven do *vertikálního mlýna*, kde je namlet na požadovanou velikost a dále uskladněn v *homogenizační síle*. Z něj je pak materiál dávkován do *výměníku pecní linky*.

V této fázi se dostáváme k nejpodstatnější části výroby cementu., a tou je samotný *výpal slínku*. Surovinová moučka prochází cyklonovým výměníkem, kde dochází k předeřtí materiálu na teplotu zhruba 800°C, do tzv. *rotační pece*. Ve výměníku dochází k využití tepla kouřových plynů a k dokonalému zachycení  $\text{SO}_3$ , který se přemění na neškodný  $\text{CaSO}_4$ . Pálením na mez slinutí (cca 1450°C) se vytvoří kuličky, zvané *slínek*. Ten je pak pomocí roštového chladiče zchlazen na teplotu přibližně 100°C, odkud dále putuje přímo do *cementové mlýnice* (v případě přebytků do *slínkového síla*). Do mlýnice putuje slínek společně s regulátorem tuhnutí (např. energosádrovec, chemosádrovec), a také s dalšími složkami, jako např. struskou, popílkem, odprašky apod.

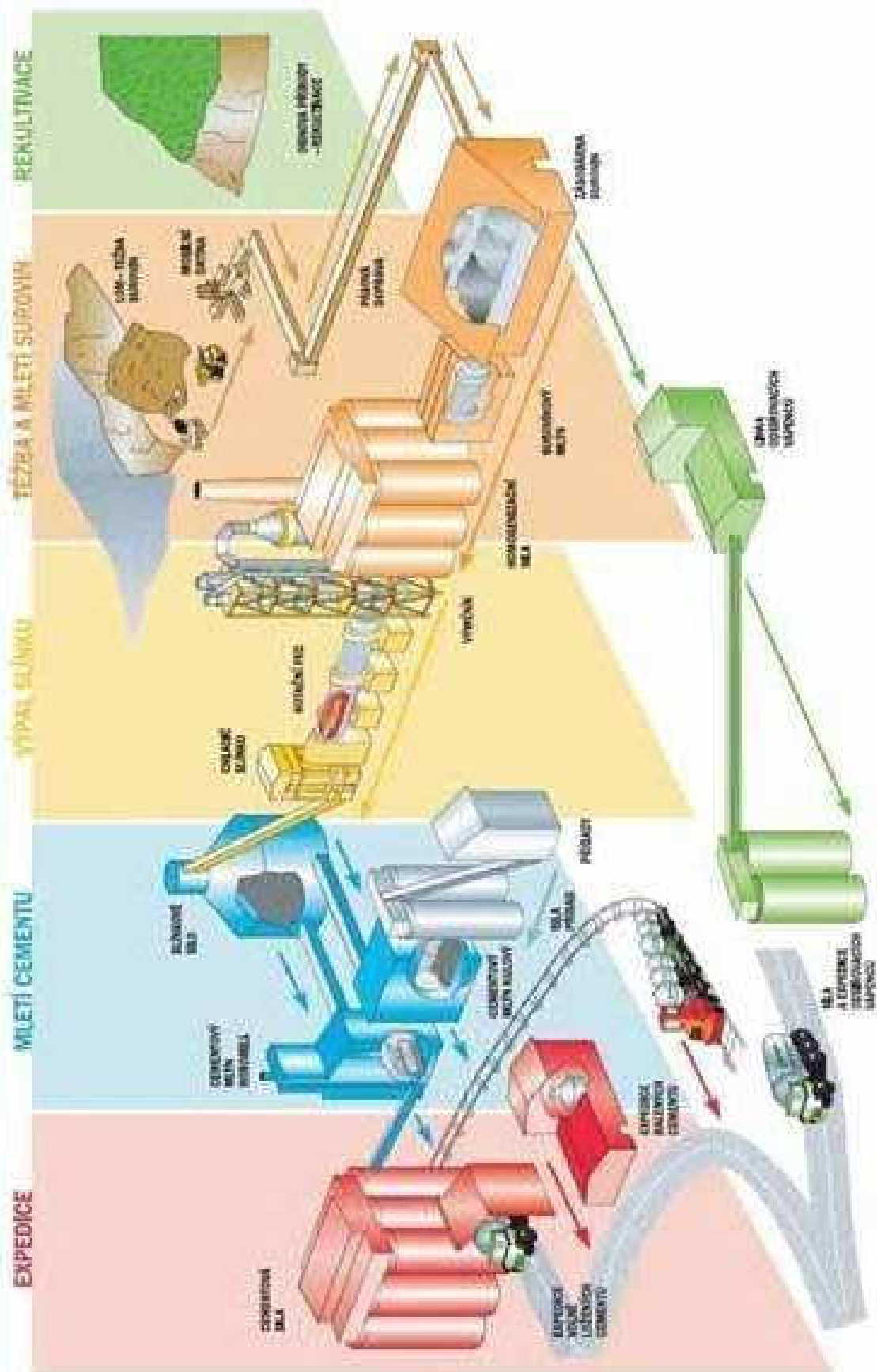
Výsledným produktem po mletí je již samotný cement o požadovaném chemickém složení a velikosti zrn. Ten je dále skladován v cementových sílech, odkud pak probíhá expedice.

Cement lze distribuovat volně ložený ve speciálních železničních vagónech nebo nákladních autech, ale také zabalený do papírových pytlů a velikostech 25 kg nebo 50 kg.

Nedílnou součástí celkové výroby cementu jsou průběžné kontroly požadovaných vlastností dílčích surovin i samotného cementu v průběhu mletí.

Celkové schéma výroby cementu je znázorněno na obr. 1. Jednotlivé části technologického postupu budou vysvětleny v několika následujících kapitolách.

## SCHÉMA VÝROBY CEMENTU a odsiřovacích vápenců



Obr. 1 Schéma cementárny (převzato z [www.lafarge.cz](http://www.lafarge.cz)).

### 3.1 Drcení a jeho význam

Již samotné *drcení* je jedním z nejdůležitějších technologických postupů. Význam zdrobňovacího procesu neustále vzrůstá v souvislosti s rostoucí výrobou a spotřebou drceného kameniva, cementu a jiných materiálů. Význam tohoto procesu je v různých průmyslových oborech odlišný. Někde má zdrobňování pouze druhořadý význam, zatímco v jiných průmyslových oborech může být velmi důležitým a někde i dokonce hlavním technologickým postupem. Jako příklad lze uvést: při těžbě a úpravě kameniva se uplatňuje především drcení, zatímco v cementárnách má převažující význam mletí.

V praxi je třeba mezi pojmy *drcení* a *mletí* vymezit fyzikálně definovanou hranici. Často se vychází z velikosti zrn nebo částic v získávaném produktu, přičemž se ale projevují rozdílnosti jednotlivých průmyslových oborů. Za tuto hranici je obvykle pokládána velikost zrn 1-3 mm, v normách pak nejčastěji kolem 1 mm. Následující kapitoly této práce budou zaměřeny na vysvětlení pojmů drcení a mletí, drtiče a mlýnice, jejich typů a významu při výrobě cementu.

### 3.2 Mletí a jeho význam

*Mletí* lze definovat jako základní pracovní proces při výrobě cementu i v ostatních průmyslových oblastech. Rozdílné technologické postupy a speciální požadavky kladou vysoké nároky na používané mlýny. Proto lze v současnosti použít velký počet rozdílných typů a konstrukcí mlýnů. Lze tedy říci, že neexistují žádné mlýny, které by mohly vždy a všude nahradit jiné typy.

Při projektování mlýnic a samotné volbě mlýnů, je nutné řádně zvážit všechny klady a zápory různých typů mlýnů.

Na úvod je třeba zmínit nejznámější a současně nejčastěji používané typy mlýnů. K nim patří mlýny:

- a) *kulové*,
- b) *tyčové*,
- c) *běhounové*,
- d) *rotorové* a
- e) *vibrační*.

Velmi důležitou otázkou při volbě mlýna je *granulometrické složení* vyráběného produktu. To má mimořádně velký význam při výrobě cementu. Jemnější mletí cementářského slínku zlepšuje některé vlastnosti cementu, jako např. jeho zpracovatelnost, přilnavost a nepropustnost malty. Lze říci, že čím jemněji je cement namletý, tím rychleji hydratuje a tím pádem je jeho počáteční pevnost větší. Naproti tomu příliš jemně mletý cement snadno vlhne a hrudkovatí, potřebuje více vody a při tuhnutí se smršťuje. Proto jsou nejvhodnější částice o velikosti 3 až 30  $\mu\text{m}$ . Jestliže namletý cement obsahuje větší množství částic o velikostech 1 až 3  $\mu\text{m}$ , zkracuje se počátek tuhnutí cementu, ale doba jeho tuhnutí se prodlužuje.

Cementářský slínek se obvykle mele na jemnost, která odpovídá zbytku do 10% na síti s okatostí 0,09 mm. Je-li mletí příliš jemné, vzrůstá spotřeba energie a tím se zvyšují výrobní náklady. Zvýší-li se jemnost mletí a velikost zbytku na síti se sníží na méně než 3%, zvýší se náklady na mletí slínku o 50 až 300%.

Při výrobě cementu je třeba zdůraznit správné mletí všech surovin. Obvykle se semílají na jemnost takovou, aby zbytek na síti s okatostí 0,09 mm byl kolem 15 až 20%.

### 3.3 Stroje pro rozmělnění materiálu

Rozhodujícím kritériem při označení drtičů a mlýnů je zrnitostní složení získávaných produktů. Kusovité a hrubozrnné materiály se zdrobňují v drtičích, v nichž se získávají produkty kusovitého až drobně zrnitého charakteru. Produkty získávané ve mlýnech jsou naproti tomu tvořeny menšími zrny nebo částicemi malých rozměrů.

Při určování spolehlivých kritérií pro rozlišování **drtičů** a **mlýnů** se doporučovalo, aby se jako drtiče označovaly takové stroje, v nichž se drticí elementy nemohou vzájemně dotýkat, a název mlýny byl vyhrazen strojům, ve kterých je možný přímý dotyk zdrobňovacích elementů. Tato klasifikace však vystihovala podstatu věci jen u některých strojů, jako např. u kuželových či kulových drtičů. V případě jiných zdrobňovacích strojů (metací mlýny) nelze tuto klasifikaci použít. Proto je v praxi nejčastěji používáno rozdělení zdrobňovacích strojů podle zrnitosti produktů.

U nás jsou pojmy hrubé drcení, střední drcení, apod. vymezeny normou ČSN 44 7010 podle velikosti zrn v produktech (viz tab. 3). Podle této normy byla stanovena hranice mezi mlýny a ostatními zdrobňovacími stroji na velikost zrn 1,25 mm, tzn. zdrobňovací stroje, jejichž produkty jsou tvořeny zrny menšími než 1,25 mm se nazývají **mlýny**.

<b>ZPŮSOB ZDROBŇOVÁNÍ</b>	<b>VELIKOST ZRN V PRODUKTU</b>
Hrubé drcení	Zrna větší než 125,00 mm
Střední drcení	Zrna větší než 25,00 mm
Jemné drcení	Zrna menší než 25,00 mm
Mletí	Zrna menší než 1,25 mm
Jemné mletí	Částice menší než 0,08 mm

*Tab. 3 Velikost kusů a zrn produktů získávaných v drtičích a mlýnech.*

## 4. STROJNÍ ZAŘÍZENÍ VYUŽITÁ PŘI VÝROBĚ CEMENTU

Mezi nejdůležitější strojní zařízení, využívané při výrobě cementu, patří:

- a) *drtiče lomového kamene*, jejichž význam byl zmíněn již v předešlé kapitole,
- b) *horizontální a vertikální mlýny*,
- c) *cyklonový výměník s rotační pecí pro výpal slínku*.

V následujících kapitolách budou detailně popsány jednotlivé provozní soubory, jejich konstrukce a význam při výrobě cementu.

### 4.1 Drtiče lomového kamene

Při konstrukci drtičů se vychází díky nedostatečnému poznání podstaty zdobňovacího procesu pouze z části z teoretických poznatků. A proto při projektování drtíren a volbě drtičů se vychází především z praktických zkušeností.

Při volbě drtičů rozhodují následující faktory:

- mechanické a fyzikální vlastnosti zdobňovaných hornin,
- maximální rozměry drcených kusů,
- vlhkost vstupního materiálu,
- obsah lepidých příměsí v drcených horninách,
- velikost zrn, jež se mají získávat,
- přípustný obsah nedostatečně (nebo příliš) rozdrcených zrn v produktu,
- hmotnost a rozměry stroje,
- požadovaný výkon a cena drtiče.

V případě vlastního návrhu cementárny je třeba při volbě primárních drtičů dávat pozor nejen na požadovaný výkon, ale i na maximální rozměry drcených kusů. Při volbě vstupního otvoru je třeba zvolit takové rozměry, aby se mohly drtit i největší kusy vyskytující se v přívodu. Plynulý provoz drtičů vyžaduje, aby největší rozměr přiváděných kusů byl nejméně o 10% menší, než je šířka vstupního otvoru.

Před drtičem musí být vždy zabudován podavač, který zaručí plynulé podávání materiálu a zajistí tak optimální využití kapacity drtiče.

Při vlastním návrhu cementárny lze volit mezi následujícími typy drtičů:

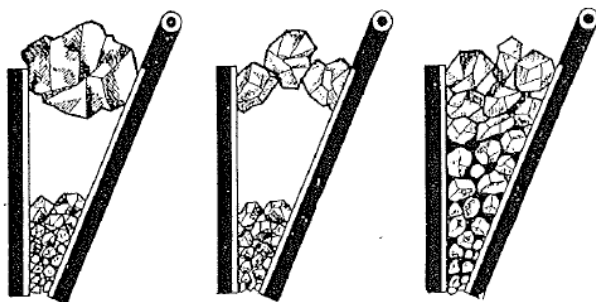
- a) *čelistové drtiče*, a to jak dvou – i jedno vzpěrné,
- b) *kuželové drtiče*, a to ostro- i tupouhlé,
- c) *válcové drtiče* všech typů,
- d) *kladivové drtiče* a
- e) *odrazové drtiče*.

#### 4.1.1 Čelistové drtiče

Samotný název tohoto typu drtičů vyplývá z jejich konstrukce. Skládají se z dvou čelistí, z nichž jedna je pohyblivá a druhá je uložena pevně v rámu stroje. Životnost těchto čelistí při drcení vápence bývá 100 000 t až 250 000 t. V těchto drtičích je hornina rozmačkávána a lámána mezi těmito čelistmi.

Čelistové drtiče se používají při hrubém a středním drcení velmi pevných a těžce drtitelných materiálů.

V této kapitole je třeba také upozornit na nevýhody čelistových drtičů. V provozních podmínkách u nich může docházet k zablokování vstupního otvoru nebo ke vzniku klenby, nebo také k zahlcení drtičeho prostoru (viz obr. 2).

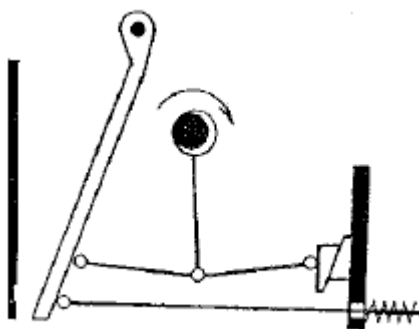


Obr. 2 Příčiny, které znemožňují průchod vápence drtičem[4].

Aby tak nedocházelo k zablokování drtičů nadměrně velkými balvany, musí být šířka vstupního otvoru větší, než jsou rozměry největších kusů do nich přiváděných. Proto při projektování drtírny je třeba myslet nejen na její výkon, ale i na tuto podmínku. Díky tomu je někdy instalován větší drtič, než by byl potřebný.

K zahlčení drtičů může také docházet při zvýšeném obsahu vlhkých a mazlavých podílů a stejně tak i při přílišném zmenšení šířky výpustní štěrbin. Drtič se může zahltit i tehdy, jestliže není pod výpustní štěrbinou dostatečný volný prostor a tudíž nemůže být rozdrčená hornina z drtiče odváděna.

Nejvíce rozšířenými jsou čelist'ové drtiče *dvouvzpěrné* (viz obr. 3), u nichž je jedna čelist uložena pevně v rámu a druhá je pohyblivá, upevněná na kyvadle a tím pádem vykonává kývavý pohyb.



Obr. 3 Schéma dvouvzpěrného čelist'ového drtiče [4].

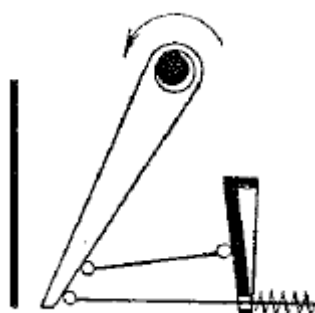
Obě čelisti s postraními klíny tvoří tlamu drtiče. Kývavý pohyb čelisti je vyvolán nepřímo pákovým mechanismem složeným z ojnice a dvou vzpěrných desek. Ty se zhotovují většinou z křehkých materiálů, např. ze skořepové litiny. Jsou konstrukčně jednoduché a jejich výměna je snadná. Problém nastává v případě, praskne-li zadní deska, může vypadnout i druhá a uvolněné dále kývající kyvadlo by mohlo poškodit drtič. V současné době jsou nejčastěji vyráběné čelist'ové drtiče, které jsou chráněné pojistným mechanismem v setrvačnicích a mají desky ocelové. Ojniční hlava je nasazena na výstředníkovém hřídeli. Spodní okraje čelisti se střídavě přibližují a vzdalují. Materiál, který se nachází v drticím prostoru je zdrobňován při vzájemném přibližování čelistí. V čase, kdy se čelisti od sebe vzdalují, klesá drcený materiál směrem k výpustní štěrbině a zrna, která jsou menší než tato štěrbin, vypadávají ven z drtiče. Šířka výpustní štěrbin  $s$  se udává jako vzdálenost mezi vrcholy zubů jedné čelisti a úžlabím mezi zuby druhé čelisti v okamžiku, kdy se právě pohyblivá čelist přibližuje k pevné co nejbližše. Zpětný pohyb pohyblivé čelisti je pak vyvolán táhlem s ocelovou pružinou.

Výkony největších dvouvzpěrných čelist'ových drtičů dosahují 400 až 1000 m<sup>3</sup>/h. K zajištění správné funkčnosti drtiče musí být zvolen vhodný mazací plán.



### ***Jednovzpěrný čelist'ový drtič***

Tento typ drtičů má pouze jednu vzpěrnou desku, která se opírá jedním koncem o spodní část kyvadla a druhým pak o zadní stěnu rámu drtiče (viz obr. 4). Tyto drtiče se uplatňují především při tzv. *sekundárním drcení*, tj. při drcení hornin na velikost zrn 20 až 30 mm. Malé jednovzpěrné drtiče je možné použít k jemnému drcení až na velikost menší než 10 mm. Hlavní nevýhodou je vysoký otěr čelistí, způsobený složitým mechanismem pohybu pohyblivé čelisti. Otěr je až pětinasobkem otěru v drtičích dvouvzpěrných.



*Obr.4 Schéma jednovzpěrného čelist'ového drtiče [4].*

### ***Zvláštní typy čelist'ových drtičů***

V této části kapitoly je třeba především zmínit malé čelist'ové drtiče, které se používají při drcení vzorků v laboratořích. Umožňují rychlou výměnu vzorků a stejně tak i snadnou obsluhu a čištění.

Nejnovějším typem čelist'ového drtiče je tzv. *rázový čelist'ový drtič*. V tomto případě není vápenec drcen pouze rozmačkáváním mezi čelistmi, ale i tím, že pohyblivá čelist odráží drcená zrna prudce vzhůru na pevnou čelist.

#### **4.1.2 Kuželové drtiče**

Kuželové drtiče je možno použít při všech požadovaných jemnostech drcení pro velmi pevné i těžce drtitelné horniny. V těchto drtičích je materiál zdobňován mezi otáčejícím se drtícím kuželem a pevně uloženým drtícím pásem.

Při definici různých kuželových drtičů se vychází:

- a) z velikosti největších kusů, které mají být drceny, nebo
- b) z tvaru drtícího kužele.

Podle tvaru drtících kuželů se dělí na drtiče *ostro-* a *tupoúhlé*. Podle velikosti materiálu se pak dělí na *primární* a *sekundární*.

### ***Ostroúhlé kuželové drtiče***

Tento typ drtičů se používá k hrubému a střednímu drcení těžce drtitelných rud, kameniva a různých materiálů.

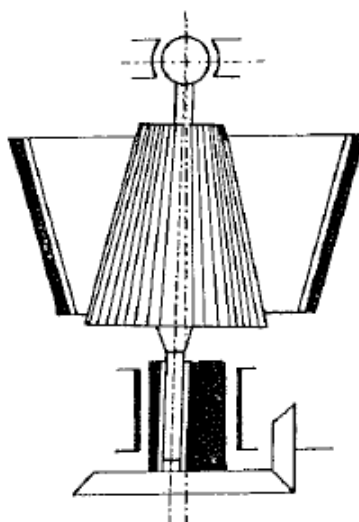
Na úvod této kapitoly je třeba zdůraznit přednosti ostroúhlých kuželových drtičů.

Mezi hlavní výhody patří:

- vysoké výkony (až do 5000 t/h),
- možnost drcení i velkých balvanů (průměr až 2 metry),
- získávané kusy mají příznivý tvar s ostrými hranami,
- drtí úspěšně i abrazivní horniny,
- drcení mokrých, ale nelepivých materiálů.

V ostroúhlý (stejně tak i tupoúhlých) kuželových drtičích se materiál drtí v prostoru mezi kroužicím drticím kuželem a pevně uloženým drticím pláštěm. Drticí kužel je nasazen na hlavním hřídeli, jehož spodní konec zapadá do výstředně umístěného otvoru v pouzdru, které je poháněno díky ozubenému soukolí a předlokové hřídele. Kužel vykonává krouživý pohyb, přičemž se přibližuje k drticímu plášti a poté se od něho vzdaluje.

Schéma ostroúhlého drtiče je znázorněno na obr. 5.



*Obr. 5 Schéma ostroúhlého kuželového drtiče [4].*

Stupeň drcení ostroúhlých kuželových drtičů je nejvýše 5 – 8, obvykle však jen 3 – 4.

### ***Tupouhlé kuželové drtiče***

Tupouhlé kuželové drtiče se od ostroúhlých liší především tvarem kuželu. I když je vrcholový úhel drticích kuželů v ostroúhlých menší a tupouhlých větší, není vždy velmi výrazný. Nejzásadnější rozdíl je však ve tvaru a poloze pevného drticího pláště. Vrchol kuželové plochy drticího pláště je u ostroúhlých drtičů dole. U tupouhlých je tomu naopak.

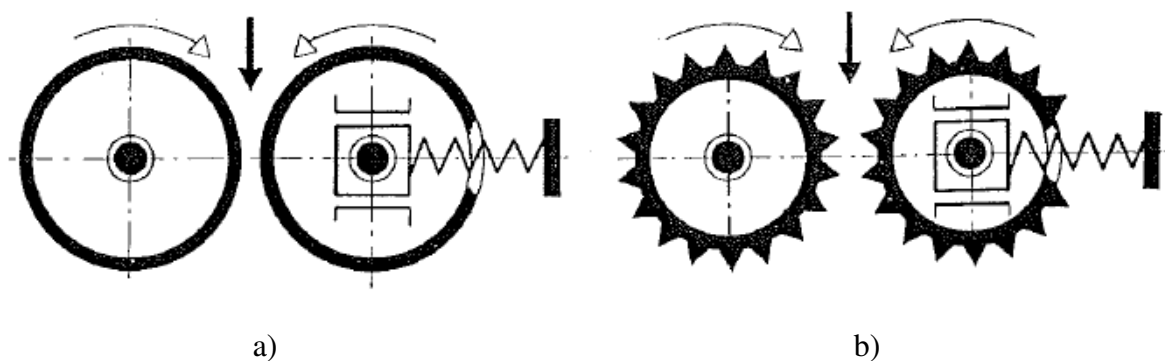
Předností těchto drtičů je vysoký stupeň drcení, který zpravidla bývá 7 – 15.

### **4.1.3 Válcové drtiče**

Ve válcových drtičích se zdobňuje materiál buď mezi dvěma proti sobě se otáčejícími válci, anebo mezi otáčejícím se válcem a nepohyblivou čelistí. V praxi se využívají válcové drtiče různých typů, které se liší konstrukcí i technologickými vlastnostmi.

Povrch válců může být hladký, nebo na něm mohou být hroty nebo zuby.

*Dvouválcové drtiče* mají válce hladké nebo ozubené, *jednoválcové* vždy ozubené. Dvouválcové drtiče s hladkými a ozubenými válci jsou znázorněny na obr. 6.



Obr. 6 Dvouválcové drtiče a) s hladkými válci, b) s ozubenými válci [4].

### ***Dvouválcové drtiče s hladkými válci***

Válcové drtiče mají velmi jednoduchou konstrukci a jsou provozně spolehlivé. Lze je snadno chránit proti poškození tak, že jeden z obou válců má odpružené uložení.

V těchto drtičích je materiál drcen mezi dvěma vedle sebe umístěnými a proti sobě se otáčejícími válci. Zdrobňovaný materiál je tíhovou silou a vlivem tření vtahován mezi válce a drcen.

Uplatňují se především při středním a jemném drcení křehkých, ale jinak poměrně pevných a houževnatých materiálů. Používají se především při zdrobňování žáruvzdorných a jiných keramických surovin a někdy i v kamenoprůmyslu.

Vztah mezi průměrem válců a velikostí kusů, které mohou být drceny v těchto typech drtičů závisí na velikosti úhlu záchyty. Úhel záchyty musí být menší než je dvojnásobek úhlu tření. Protože úhel tření mezi kusy hornin a povrchem hladkých ocelových válců je přibližně  $16^\circ$ , měla by být maximální hodnota úhlu záchyty rovna až  $32^\circ$ .

Stupeň drcení dvouválcových drtičů s hladkými válci je poměrně malý. V praxi nesmí být větší než 3 až 4. Z důvodu zvětšení stupně drcení se vyrábí také válcové drtiče se třemi, čtyřmi i více válci.

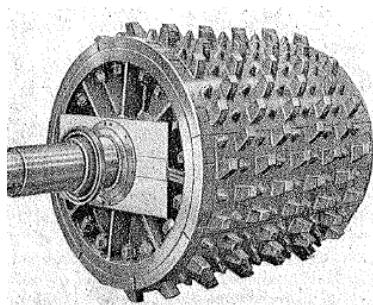
Obvodová rychlost obou válců v tomto typu drtičů bývá stejná, nebo jen velmi málo se liší. Pokud by byl rozdíl obvodových rychlostí větší, bude materiál drcen nejen tlakem, ale i roztíráním. Velikost obvodové rychlosti bývá nejčastěji 2-3 m/s, při jemném drcení středně pevných materiálů i 6-8 m/s.

Aby nedocházelo k vysokému otěru válců, musel by být materiál do drtiče přiváděn rychlostí, která je stejná jako obvodová rychlost válců.

### ***Dvouválcové drtiče s ozubenými válci***

Tento typ drtičů se používá především při hrubém a středně hrubém drcení snadno až středně drtitelných surovin, jako je sádrovec, černé a hnědé uhlí apod. Lze je využít jako primární, ale i sekundární drtiče. Primární drtiče mohou drtit kusy až do velikosti 1000 mm. Velikost zrn pak obvykle bývá 300-350 mm.

Tyto drtiče mají na pláštích válců různě profilované nálitky, hroty nebo zuby (viz obr. 7).



*Obr. 7 Ozubený válec dvouválcového drtiče [4].*

Aby nedocházelo k ulamování zubů při prudkých úderech drcených kusů, mají válcové drtiče menší obvodové rychlosti válců než drtiče s hladkými válci.

Dosažitelný stupeň drcení u dvouválcových drtičů s ozubenými válci je 8, zřídka kdy až 15. Nejčastěji je ale mezi 4-6.

## **4.2 Mlýny**

Počátek vývoje současných mlýnů spadá do přelomu 19. a 20. století. Jejich vývoj pak urychlila rostoucí spotřeba různých nerostných surovin, ale také prudký vzrůst výroby cementu.

Současný stav mlýnů je charakterizován jejich velkými počty, množstvím nejrozličnějších druhů, velikostí i konstrukcí. Jedním z hlavních důvodů tolika druhů jsou požadavky týkající se granulometrického složení výsledného produktu. Je zřejmé, že mlýny pro hrubé a velmi hrubé mletí mají zcela jinou konstrukci než mlýny pro velmi jemné mletí. V cementárnách je třeba, aby byl slínek mlet velmi jemný.

I v současné době mají moderní, ve všech směrech dokonalé mlýny některé závažné nedostatky. Nejdůležitějším z nich je nestejnoměrné zrnitostní složení získaných produktů. Náročné požadavky na absolutní homogenitu materiálů nemůže splnit žádný mlýn. Tyto zmíněné nedostatky lze zmírnit či částečně eliminovat kombinací mlýnu s vhodným třídícím

zařazením. To může být přímo nedělitelnou součástí mlýnu nebo je zařazeno jako samostatná jednotka za mlýnem. Je-li mlýn kombinován se třídícím, surovina se rozemílá méně jemně, než je požadováno. Částice, které jsou nedostatečně rozemleté jsou zachycované v třídíči a odváděné zpět do mlýna k jemnějšímu rozemletí.

Druhým nedostatkem mlýnů je průběžné opotřebování mlecích elementů, které přichází do přímého styku s mletými surovinami. Takto může být znečišťován získaný produkt železným otěrem.

V následující kapitole budou podrobně rozebrány jednotlivé druhy mlýnů.

#### **4.2.1 Kulové mlýny**

Kulové mlýny jsou jedny z nejdůležitějších zdrobňovacích strojů, používaných k mletí. Jsou současně nejvíce rozšířené a prakticky nenahraditelné při mletí cementu.

Tento typ mlýnů lze definovat jako gravitační mlýny s volnými mlecími tělesy. Lze si je představit jako bubny nebo válce s vodorovnými osami zaplněné z části mlecími koulemi. Jestliže se mlýn otáčí, koule jsou unášeny vzhůru a po dosažení určité výšky odpadají. Během těchto pohybů rozemílají materiál rázem, tlakem a vzájemným třením koulí samotných a o pancéřové vyložení mlýna.

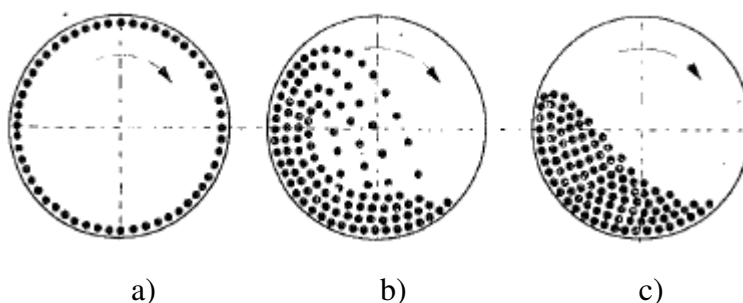
Jak již bylo výše zmíněno, mlecí náplň kulových mlýnu tvoří ocelové nebo litinové mlecí koule o průměru od 20 do 150 mm. Průměr a hmotnost mlecích koulí a velikost celkové mlecí náplně jsou rozhodující faktory, které určují účinnost mletí a výkon mlýnů.

Kulové mlýny různých typů se od sebe liší především svoji délkou. Charakteristikou kulových mlýnů je jejich průměr  $D$  a jejich délka  $L$ . Je-li poměr průměru: délce = 1:1 až 1:2, jde o tzv. *bubnové mlýny*. Dlouhé kulové mlýny s poměrem  $D:L = 1:2$  až  $1:8$  se pak nazývají mlýny *troubové*. V cementárnách se používají převážně mlýny troubové s poměrem  $D/L = 1:4$ .

Průběh mletí v kulových mlýnech určují následující faktory:

- a) *průměr a délka mlýna,*
- b) *počet otáček mlýna,*
- c) *průměr mlecích koulí a jejich hmotnost,*
- d) *součinitel zaplnění vnitřního prostoru mlýna mlecími koulemi.*

Aby bylo mletí účinné, musí být mlecí koule vynášeny dostatečně vysoko (obr. 8a). Při příliš velkém počtu otáček mlýna by mlecí koule díky působení odstředivé síly nemohly vůbec odpadávat a mletí by bylo znemožněno (viz obr. 8b). Pokud by byl počet otáček velmi malý, koule by pak nebyly zvedány dostatečně vysoko, což by opět mělo na mletí nepříznivý vliv (viz obr. 8c). Při celkovém shrnutí je třeba zdůraznit, že správný průběh mletí závisí na počtu otáček a obvodové rychlosti mlýnů.



*Obr. 8 Vliv obvodové rychlosti na pohyb mlecích koulí [4].*

Kulové mlýny se plní mlecími koulemi obvykle tak, aby zhruba 40% objemu bylo zaplněno koulemi a mletým materiálem. Ve mlýně se vytváří několik vrstev koulí, z nichž každá má jiný průměr. V těchto jednotlivých vrstvách mají koule různé obvodové rychlosti tak, že platí: čím menší je průměr vrstvy, tím menší je obvodová rychlost a tím pravděpodobnější je odpadávání koulí.

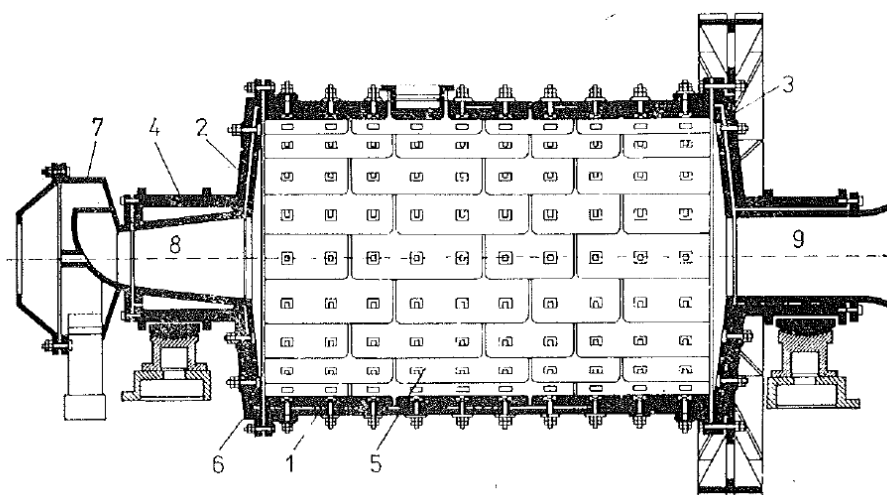
### ***Bubnové kulové mlýny***

Tyto mlýny jsou krátké, poměr délky mlýna ku jeho průměru je obvykle menší než 2-2,5. Jejich funkční částí je dutý buben nebo válec, uložený na dvou čepích. Bubnové mlýny se uplatňují především při mletí za sucha.

### ***Bubnový mlýn s vynášením produktů dutým čepem***

Tyto mlýny jsou nejčastěji využívány při úpravě rud a jiných nerostných surovin. Na obr. 9 je zobrazeno schéma tohoto mlýna.

Materiál se přivádí do mlýna podavačem zleva a prochází dutým čepem připevněným k čelu mlýna. Rozemletý materiál je pak vynášen ze mlýna na jeho druhém konci dutým čepem. Ten musí mít o něco větší průměr, než je průměr dutého vstupního čepu. V čepu na výstupním konci mlýna bývá vestavěné síto, které je stočené do tvaru komolého kužele. Jeho hlavní funkcí je zachycení úlomků poškozených mlecích koulí a nedostatečně rozemletého materiálu.



Obr. 9 Schéma bubnového mlýna s vynášením produktu dutým čepem.

1-plášť mlýna, 2-čelo mlýna, 3-ozubený věnec na výstupním čele, 4-dutý čep, 5-pancéřové desky, 6-vyložení čela, 7-kombinovaný podavač, 8-vyložení dutého čepu, 9-výstupní dutý čep [4].

#### ***Bubnové kulové mlýny s obvodovým výpadem***

Bubnové kulové mlýny s vynášením rozemletého materiálu sítem, které nahrazuje plášť bubnu, lze využít pro mletí za sucha i mokra. Tento typ mlýnů se uplatňuje především při mletí sádrovce, vápence, úlomků cihel apod.

#### **4.2.2 Troubové mlýny**

Troubové mlýny se od bubnových liší především svou délkou, poměr  $D/L$  je od 1:3 do 1:8. Pracují podobně jako mlýny bubnové s tím rozdílem, že melou především rozmačkáváním a rozměňováním.



Tento typ mlýnů lze využít pro mletí těžce a velmi těžce nepitelných materiálů za sucha i za mokra. Uplatňují se všude, kde se požaduje velmi jemné mletí, především v cementárnách.

Zrnitostní složení získávaných produktů závisí na době, po kterou je materiál procházející mlýnem vystaven účinkům úderů a převalování mlecích koulí. Produkt je tím jemnějším, čím větší je délka použitých mlýnů.

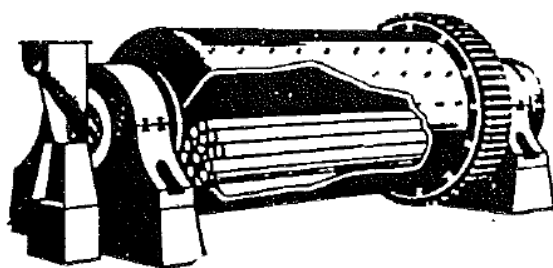
Při výrobě cementu musí být výchozí suroviny i cementářský slínek mlety velmi jemně. Jakost cementu závisí na velikosti podílu částic od 3 do 30  $\mu\text{m}$ . Z tohoto důvodu se v cementárnách používají troubové mlýny, jejichž délka je 12-18 m.

Hlavním nedostatkem troubových mlýnů je optimální průměr mlecích koulí k velikosti rozemílaných zrn. Z teoretického hlediska by měly být na vstupní straně mlýnu koule velkých průměrů a postupně, stejnoměrně se zvětšujícím se měrným povrchem meliva by měl vzrůstat i měrný povrch mlecích koulí. Průměr by se pak měl plynule zmenšovat směrem k výpadu na konci mlýna. Proto se v cementárnách používají *sdružené troubové mlýny*, rozdělené mezistěnami do dvou nebo tří oddělených komor.

#### 4.2.3 Tyčové mlýny

Tyčové mlýny (viz obr. 10) se liší od kulových bubnových jednak tím, že jejich mlecí náplň tvoří tyče a také svoji délkou. Ta bývá u tyčových mlýnů minimálně 1,5 až 2,5 násobkem jejich průměru.

Užívají se především při mletí těžce melitelných materiálů za sucha i za mokra. Výhodou mletí za mokra je rychlejší vynášení produktu ze mlýna i při jeho hrubší zrnitosti.



Obr. 10 Tyčový mlýn [4].

Mlecí tyče musí být dimenzovány jak podle zrnitostního složení získávaného produktu, tak i podle velikosti materiálu do mlýna přiváděného. Průměr mlecích tyčí bývá od

30 do 100 mm, výjimečně i do 125 mm. Optimální stupeň mletí v tyčových mlýnech je od 12 do 20.

Počet otáček tyčových mlýnů bývá menší než u mlýnů kulových. V případě vysokých otáček by mohl volný pád těžkých tyčí způsobit jejich zahýbání nebo zlomení.

Při poměrně malém počtu otáček se tyčové mlýny pouze převalují a způsob mletí je tedy odlišný oproti mletí v kulových mlýnech. Mlecí tyče jsou unášeny zhruba do jedné třetiny výšky vnitřního průměru mlýna. Náplň vzhůru unášených mlecích tyčí svírá s vodorovnou osou úhel přibližně 45°. Během jedné otáčky mlýna uskuteční tyč celkem 3 cykly. Při otáčkách 20 min<sup>-1</sup> se uskuteční jedna otáčka mlýna za 3 s. Jeden cyklus tedy trvá 1 s, přičemž pohyb vzhůru unášené tyče trvá 0,8 s a 0,2 s připadá na pád a převalování tyče směrem dolů.

U tyčových mlýnů se používají 3 rozdílné způsoby vynášení produktů, a to:

- a) *vynášení produktu dutým čepem,*
- b) *vynášení produktu soustavou štěrbin na obvodě pláště u konce mlýna,*
- c) *vynášení produktu soustavou štěrbin uprostřed mlýna.*

Názorné shrnutí a využití jednotlivých způsobů je uvedeno v tabulce 4.

<b>Způsob vynášení</b>	<b>Způsob mletí</b>	<b>Zrnitost produktu</b>	<b>Výkon na 1 t náplně mlecích tyčí</b>
<i>Dutý čep</i>	za mokra	-0,8 až -0,3 mm	0,5 t/h
<i>Štěrbiny na konci mlýna</i>	za mokra i sucha	-3 až -1 mm	1,2 až 1,5 t/h
<i>Štěrbiny uprostřed mlýna</i>	za mokra i sucha	-5 až -3 mm	2,5 až 5 t/h

*Tab. 4 Způsob vynášení produktu u tyčových mlýnů.*

Nejvhodnější průměr zrn v produktu v získávaných v tyčových mlýnech je kolem 2 až 3 mm. Tyčové mlýny se používají nejčastěji v gravitačních úpravách nerostných surovin. A při výrobě drceného písku. Jejich hlavní nevýhodou jsou vysoké investiční náklady a vysoká

spotřeba energie. Tyto dvě nevýhody jsou však kompenzovány jejich provozní spolehlivostí a poměrně nízkými náklady na údržbu.

#### **4.2.4 Další typy mlýnů**

Na závěr této kapitoly budou velmi stručně zmíněny i ostatní typy mlýnů, které však nejsou v cementářském průmyslu využívány. Patří mezi ně:

- a) *autogenní mlýny*,
- b) *vibrační mlýny*,
- c) *běhounové mlýny*,
- d) *metací mlýny* a řada dalších typů.

### **4.3 Pecní linky pro výpal slínku**

Pecní linka pro výpal slínku je základním provozním souborem cementárny. Firma PSP/ENG je dodavatelem investičních celků i v oblasti výroby cementu. Proto se firma zabývá vývojem a projekcí těchto složitých a teplotně náročných zařízení.

První pecní linka Přerovských strojíren (v současnosti PSP/ENG) na suchý způsob výpalu portlandského slínku byla uvedena do provozu v roce 1975 v Čížkovické cementárně. Tato linka o výkonu 1500-1600 t slínku za den se skládala z jednoproudého šachtového výměníku, rotační pece a roštového chladiče. V současnosti firma PSP/ENG dodává všechny známé typy pecních linek od mokrých dlouhých pecí až po linky s úplnou předkalcinací s různými typy výměníků a chladičů. Každá sestava pecní linky je tvořena podle potřeb zákazníka, podle klimatických podmínek apod.

Celkový provozní soubor pecní linky se skládá z několika částí, a to z:

- a) *předehříváče*,
- b) *kalcinátoru*,
- c) *rotační pece* a
- d) *chladiče*.

## ***Přehříváče cementářské suroviny***

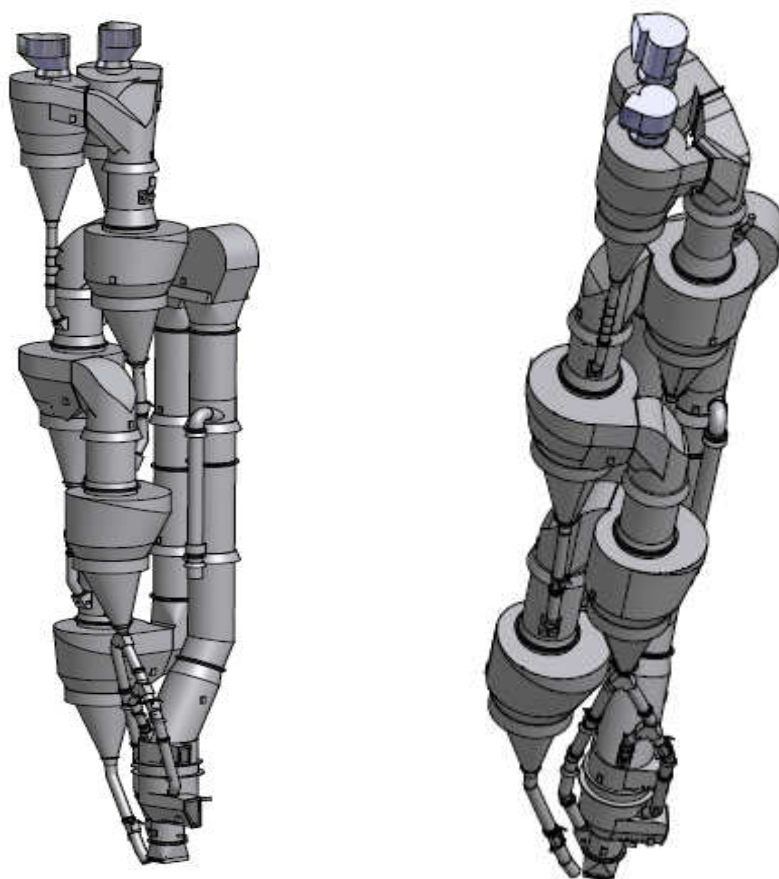
V této kapitole je třeba se zmínit především o *cyklonových, šachtocyklonových a šachtových* přehříváčích.

### ***Šachtový přehříváč***

Počátkem 60. let, ve všeobecné době přechodu na suchý způsob výpalu slínku, byl navržen šachtový přehříváč. Jeho princip je založen na využití protiproudé výměny tepla. Ve srovnání s cyklónovými výměníky je ale jeho jednoduchost a spolehlivost provázána poněkud nižší tepelnou účinností s vyššími teplotami odpadních plynů. Původní představy o vysoké efektivnosti protiproudé výměny tepla mezi práškovou surovinou a plyny se bohužel nevyplnily. Zjistilo se tedy, že výslednou protiproudou výměnu tepla lze spolehlivě zajistit několikanásobným smícháním a odloučením obou médií v sériově řazených cyklonových stupních cyklonového nebo kombinovaného výměníku.

Dalším důvodem odklonu od šachtových výměníků je problematická aplikace předkalcinační techniky u tohoto typu zařízení. Přehřátý materiál tu padá ze spodní části šachty přímo do rotační pece a tak, oproti cyklonovému přehříváči, do kanálu plynů mezi rotační pecí a šachtou není přiváděn materiál z předcházejícího teplovýmenného stupně. Právě z těchto důvodů nastal v 80. letech přechod na ***5-6 stupňové výměníky s předkalcinačním zařízením***. Oproti cyklonům klasického provedení se použitím těchto cyklonů dosáhne 25% snížení vzduchotechnického odporu výměníku. V 5-ti stupňovém provedení jsou u tohoto typu výměníku dosahovány teploty odpadních plynů v oblasti 270°C.

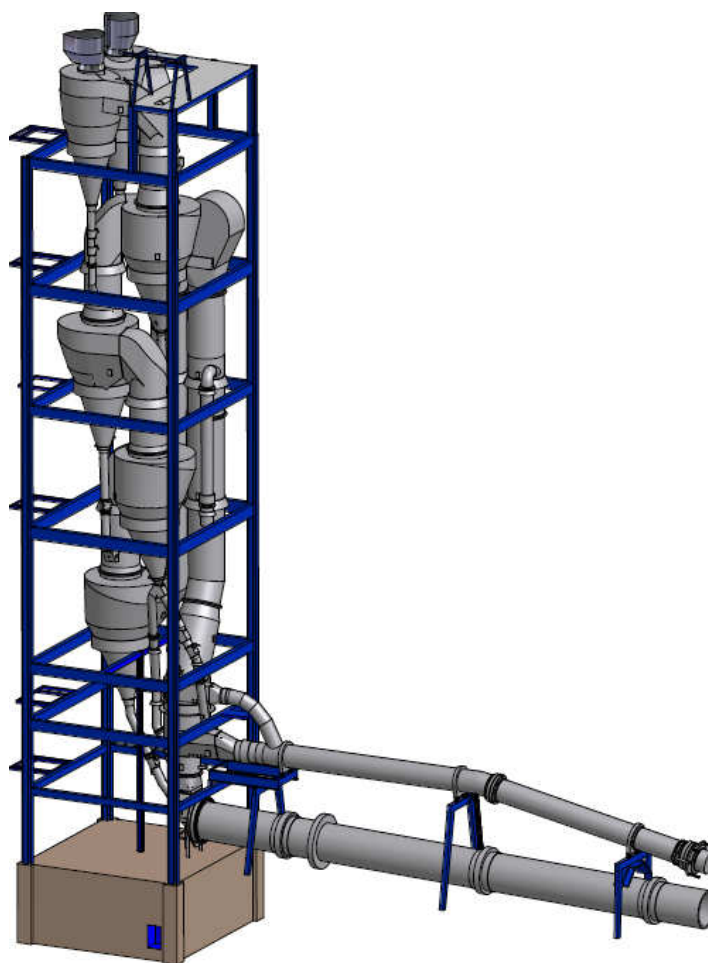
Pokud to vyžaduje zákazník, např. díky potřebě vyšší teploty odpadních plynů na sušení suroviny, jsou dodávány cyklonové výměníky o různém počtu stupňů. Jinou úspornou možností je využití principu řízení teploty odpadních plynů. V tomto případě je použit např. 5-ti stupňový cyklonový výměník (viz obr. 11).



*Obr. 11 Pětistupňový cyklonový výměník.*

### ***Rotační pec***

V tomto případě se jedná o zařízení namáhané po stránce tepelné i mechanické, s charakterem nepřetržitého provozu. Proto je při projektování každé rotační pece, s přihlédnutím na různé specifické podmínky, kladen hlavní důraz na dlouhou životnost a provozní spolehlivost. Její hlavní funkcí je roztavení materiálu a jeho následné slinutí. Tento proces probíhá při teplotě přibližně 1450°C. Na obr. 12 je znázorněna pomocí 3D modelu soustava výměníku a rotační pece.



*Obr. 12 Soustava výměníku s rotační pecí.*

Pec musí být vzhledem k zemi umístěna pod sklonem 3-5°, díky kterému dochází při rotačním pohybu pece (cca 5 ot/min) k pozvolnému přesunu materiálu do roštového chladiče, který by byl umístěn na volném konci v pravé části obr. 12.

## 5. SESTAVENÍ MODELU CEMENTÁRNY

V této části diplomové práce je popsán a sestaven vlastní návrh cementárny. Pro názornost jsou nejprve vypsány jednotlivé kroky, potřebné k jeho sestavení. Nejpodstatnější částí jsou:

- a) *sestavení Mass flow diagramu,*
- b) *určení kapacit jednotlivých provozních souborů,*
- c) *vytvoření poptávek u dodavatelů,*
- d) *zpracování vhodných strojů,*
- e) *celkové uspořádání cementárny.*

Nejprve je na základě požadavků zákazníka (především celkového výkonu cementárny, udávaného v tunách/den) sestaven tzv. „*Mass flow diagram*“ (viz příloha 1). V něm jsou uvedeny jednotlivé kapacity daných provozních souborů. Tyto materiály pak slouží jako technické podklady pro zpracování nabídek zvolenými subdodavateli. Přesně specifikované stroje, které na základě daných požadavků dodali subdodavatelé, jsou následně zapracovány do samotného projektu. V tuto chvíli již je možné určit celkovou velikost cementárny a jednotlivé rozmístění provozních souborů.

### ***Mass flow diagram***

Výchozím podkladem pro rozbor materiálového toku je technologický postup a také výrobní plán. V nově vznikajícím návrhu cementárny je situace snazší než v již zavedených výrobních. V něm jsou totiž v daleko menší míře respektována četná omezení. Nižší efektivnost výroby může způsobit také dispoziční řešení, které není schopno zabezpečit optimální přípravu materiálu, nebo i stavební řešení, které může negativně ovlivnit optimální rozmístění pracovišť.

Rozbor toku materiálu je těžištěm projektových prací všude tam, kde je hlavní částí výrobního procesu právě pohyb materiálu, zejména tehdy, když je materiál velký nebo těžký, a nebo také tam, kde jsou vysoké náklady na dopravu či manipulaci, což se projevuje zejména v cementárnách.

Na tomto diagramu je znázorněn postup vstupního materiálu jednotlivými technologickými procesy výroby, dá se říci, že v podstatě znázorňuje celkový proces výroby cementu od zavezení vstupního materiálu (vápenec, struska, apod.) až po různé typy expedice.

Mass flow diagram lze brát jako obecný předpis pro celkový návrh cementárny. Nyní je třeba zaměřit se na jednotlivé provozní soubory a detailně rozpracovat jejich technologické schéma. K tomuto účelu slouží tzv. „*flow sheet*“. Jde o kapacitní propočet daného provozního souboru. Pro názornost je v příloze 2 umístěn flow sheet cementové mlýnice. Další provozní soubory budou podrobně rozepsány v následujících kapitolách.

V tuto chvíli je již sestavena celková nabídková dokumentace. Následujícím krokem při tvorbě projektu je již samotné rozvržení jednotlivých provozních souborů a umístění strojních zařízení.

## **5.1 Základní požadavky na cementárnu**

V této práci bude sestaven návrh cementárny, která bude řešena jako projekt na „zelené louce“, tzn. projekt není limitovaný žádnými stávajícími objekty a ostatními prvky, protože je stavba umístěna na nezastavěném pozemku. Celkový požadovaný výkon cementárny je plánován na 3.300 tpd. Její umístění je voleno s ohledem na co nejsnazší dopravu základních surovin, jako jsou lámaný vápenec, struska, jíla apod. Dalšími důležitými kritérii při výběru stavebního pozemku jsou:

- a) *geologické podloží,*
- b) *umístění vůči lomu,*
- c) *vhodné umístění inženýrských sítí,*
- d) *dopravní infrastruktura.*

V případě geologického podloží je třeba brát v úvahu vlastnosti podloží, především pak jeho stabilitu, nosnost a vlhkost. V případě zhoršených podmínek podloží je třeba řádně zvážit možnost navedení dostatečného množství zeminy pro zvýšení základní stavební úrovně cementárny. V případě, kdy je v okolní krajině velké množství vody a bažin, je volen způsob úpravy stavební úrovně navedením dostatečně vysoké vrstvy hlíny pro zabránění propadů povrchu. Základní a nejdůležitější stroje a budovy jsou navíc umístěny na vrtaných pilotech,



kteře jsou ukotveny do podloží. Díky těmto pilotům lze dosáhnout dostatečné stability všech zařízení i přes původně nepříznivé okolní geologické podmínky.

Dalším, velice důležitým kriteriem pro návrh cementárny, je její umístění vzhledem k lomu vápence. Cílem je zajistit co nejkratší vzdálenost mezi lomem a samotnou cementárnou. Vhodné umístění cementárny vůči lomu zajistí v budoucnu nízké provozní náklady na dopravu a skladování lomového vápence, nutného pro výrobu cementu.

Při výběru pozemku je třeba dbát na umístění inženýrských sítí. Nejdůležitější je připojení vysokého napětí pro celkový provoz. Ideální je, aby vedení vysokého napětí bylo přes vytipovaný pozemek. Tímto se pak ušetří čas i zdoluhavá jednání s dodavateli elektrické energie.

Pojmem dopravní infrastruktura je myšlena dostupnost k jednotlivým hlavním silničním tahům v dané oblasti, u přímořských států je třeba brát v úvahu také umístění přístavu pro nákladní lodě. Pod pojem dopravní infrastruktura lze také zařadit vhodná autobusová či vlaková spojení pro dopravu budoucích zaměstnanců cementárny.

## **5.2 Provozní soubory navrhované cementárny**

Pro vlastní návrh cementárny byly vybrány následující provozní soubory:

- a) drtírna lomového kamene (PS 03),*
- b) surovinová skládka (PS 07),*
- c) doprava suroviny (PS 08),*
- d) surovinová mlýnice (PS 10),*
- e) homogenizační silo (PS 11),*
- f) doprava do výměníku (PS 12),*
- g) přehřev (PS 14),*
- h) rotační pec (PS 15),*
- i) chladič slínku (PS 16),*
- j) odprašování pecní linky (PS 18),*
- k) odprašování chladiče slínku (PS 19),*
- l) olejové hospodářství (PS 20),*
- m) doprava a skladování přísad (PS 22),*
- n) doprava a skladování uhlí (PS 23),*
- o) mlýnice uhlí (PS 24),*

- p) doprava a skladování slínku (PS 26),*
- q) mlýnice cementu (PS 29),*
- r) doprava a skladování cementu (PS 32),*
- s) balárna cementu (PS 34),*
- t) kompresorovna (PS 36),*
- u) velín (37).*

V následujících kapitolách budou podrobně rozepsány jednotlivé provozní soubory, především pak jejich konstrukce a kapacity.

### ***Drtírna lomového kamene (PS 03)***

Drtírna lomového kamene se skládá z několika částí, a to:

- a) násypky,*
- b) článkového podavače,*
- c) drtiče,*
- d) dopravního pásu.*

Největší pozornost ve výběru této sestavy je třeba věnovat výběru samotného drtiče. V tomto návrhu byl použit čelistový drtič s nominální kapacitou 1000 t/h při vstupní zrnitosti do 1 500 mm. Při určení vhodnosti drtiče bylo uvažováno se skladbou materiálu 80% vápence a 20% jílu. Přičemž požadovaná jemnost drcení je  $90\% < 75 \text{ mm}$ . Jako pohonná jednotka byl zvolen motor od dodavatele ABB s výkonem 11 kW. Čelistový drtič byl zvolen pro jeho vysokou produktivitu, nenáročnou údržbu a spolehlivý chod.

### ***Surovinová skládka (PS 07)***

Na základě výrobní kapacity cementárny byla zvolena surovinová skládka pro minimální zásobu 10 dnů výroby. Skládka byla navržena jako dvou haldová s kapacitou 2 x 26 000 t. Základním strojem na skládce je mostový zakladač s rozchodem kolejnic 32,5 m a maximální kapacitou 650 t/h přičemž jeho dopravní délka je 268 m. Celkové rozměry skládky byly určeny na délku 330 m a šířku 52 m. Skládka má kapacitu  $2 \times 18.660 \text{ m}^3$  při sypném objemu  $1,4 \text{ t/m}^3$ . Při výpočtu bylo uvažováno s maximálním sypným úhlem  $37,5^\circ$ . Díky dostatečné kapacitě zvolené skládky je zaručeno nejen plynulé dávkování materiálu, ale i jeho částečné vysušení při skladování.

### ***Doprava suroviny (PS 08)***

Provozní soubor 08 (doprava suroviny) zabezpečuje propojení surovinové skládky a dopravního pásu dopravujícího strusku se zásobníky. Při navrhování dopravních pásů byl kladen důraz na jejich přepravní kapacitu a maximální úhly stoupání. Byly zvoleny gurtové pásové dopravníky o šířce 1 000 mm s maximálním úhlem stoupání 13°. Díky dodržení maximálního stoupání dopravních pásů je zaručen jejich spolehlivý provoz a nebezpečí, že se dopravovaný materiál bude samovolně sesouvat. Přepravní kapacita dopravního pásu o šířce je 650 t/h.

### ***Surovinová mlýnice (PS 10)***

V surovinové mlýnici dochází k mletí podávaného vápence s přísadami na požadovanou jemnost. K mletí je využíván vertikální mlýn s mlecí mísou. Jako dodavatel mlýnu byla zvolena firma Loesche, přičemž bude využit mlýn s nominální kapacitou mletí 300 t/h při požadované výsledné jemnosti  $\leq 12\%$  R 0.09 mm a výsledné vlhkosti  $\leq 1.0\%$  H<sub>2</sub>O. Nezbytnou součástí každé mlýnice musí být separátor železa, který zaručuje odloučení kovových částíček z dopravované suroviny.

### ***Homogenizační silo (PS 11)***

Homogenizační silo slouží k ustálení namleté suroviny, jejímu skladování před dalším zpracováním a jejímu chemickému ustálení. Na základě kapacitního výpočtu je zvoleno silo s kapacitou 10,900 m<sup>3</sup> a rozměry:

*výška sila:* 73 m,

*průměr sila:* 16 m,

*vnitřní využitelná výška:* 56,4 m.

Jako dodavatel homogenizačního sila byla zvolena specializovaná firma IBAU.

### ***Přehřev, rotační pec, chladič slínku (PS 14, 15, 16)***

Tyto provozní soubory jsou společně pevně spjaty a je nutno je řešit jako jeden celek. Pro tuto cementárnu byl zvolen 5-ti stupňový výměník (viz kapitola 4.3), který zaručí kalcinaci podávaného materiálu a umožní podávaný materiál dávkovat do rotační pece. Rotační pec byla zvolena s kapacitou 3.300 tpd. Tato kapacita byla zvolena nejen pro samotnou výrobu cementu, ale i pro následný prodej samotného slínku. Konstrukce byly určeny rozměry pece Ø4,4 x 64 m. Z důvodu vysoké hmotnosti pece (ocelový plášť + šamotová vyzdívka + vyráběná surovina) je využito tří rotačních podpěr.

### ***Odprašování pecní linky a chladiče slínku (PS 18, 19)***

Odprašování pecní linky a chladiče slínku jsou nedílnou součástí těchto provozních souborů. K odprašení se používají elektrostatické filtry. Tyto provozní soubory nebudou v diplomové práci podrobně rozepsány, protože se jedná o jednoduché a projekčně nenáročné soubory.

### ***Olejové hospodářství (PS 20)***

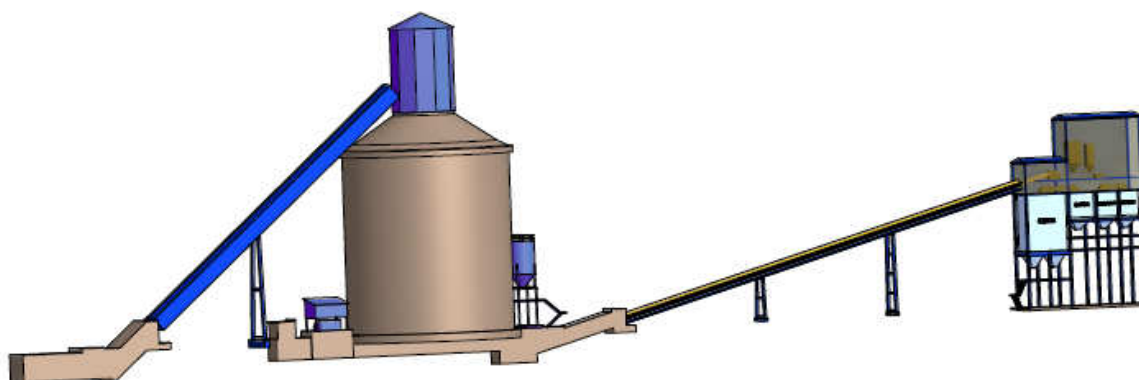
Tento provozní soubor slouží k uskladnění všech potřebných maziv a olejů, jako jsou převodovkové, hydraulické oleje a maziva pro domazávání ložisek a těsnění.

### ***Doprava a skladování přísad a uhlí (PS 22, 23)***

Tyto provozní soubory jsou téměř totožné s dopravou suroviny (PS 08). Liší se pouze tím, že pro každou surovinu je separátní zásobník.

### ***Doprava a skladování slínku (PS 26)***

Tento provozní soubor navazuje na předešlé celky (PS 14, 15, 16). Po vychlazení slínku pomocí roštového chladiče je slínek dopraven do slínkového sila, kde je uskladněn buď pro další zpracování, nebo přímý odběr a následný prodej. Kapacita slínkového sila byla vypočítána na 40.000 t. Kapacita sila byla určena s ohledem na nutnost odstávek pecní linky a plynulost výroby cementu. Na obr. 13 je znázorněn 3D model tohoto PS.



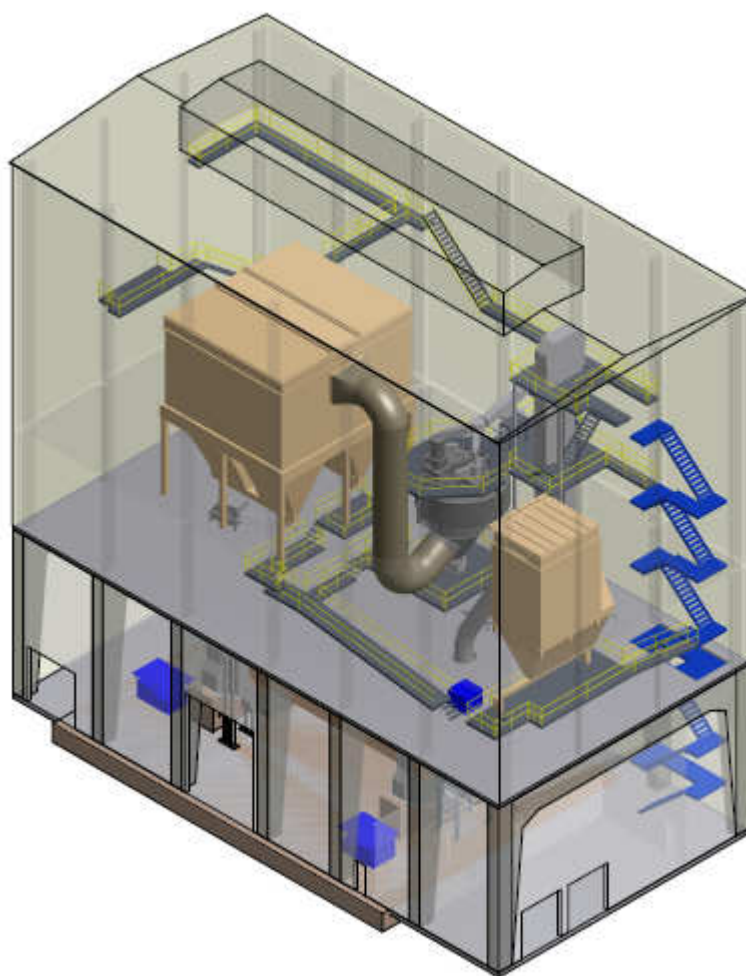
*Obr. 13 Doprava a skladování slínku.*

### ***Mlýnice cementu (PS 29)***

Jedním z nejdůležitějších provozních souborů v cementárně je právě mlýnice, skládající se z:

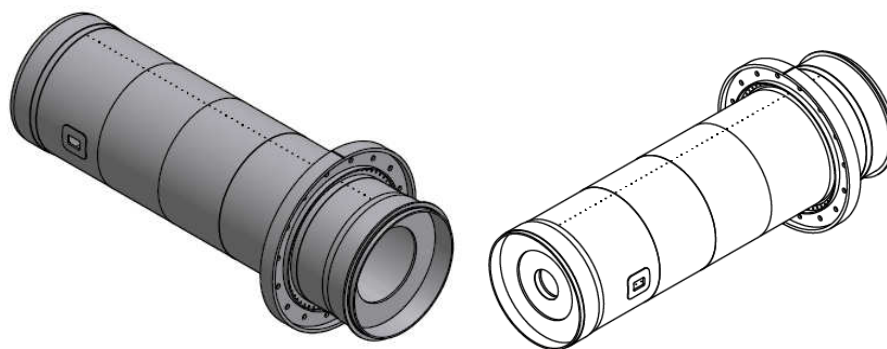
- a) cementového mlýna,*
- b) větrného třídiče,*
- c) hadicových filtrů.*

Uspořádání jednotlivých částí mlýnice je znázorněno pomocí 3D modelu na obr. 14.



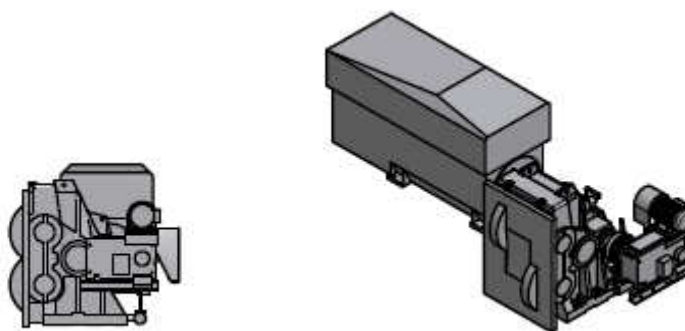
*Obr. 14 3D model mlýnice cementu.*

Prvním krokem při sestavení mlýnice je výběr typu mlýnu. Na základě popisu jednotlivých mlýnů v kapitole 4, byl pro vlastní návrh vybrán mlýn troubový uložený na kluzných ložiskách. Jedná se o kulový mlýn o rozměrech  $\text{Ø}4,4 \times 14 \text{ m}$  (viz obr. 15 ). Výrobní kapacita mlýna je 105 t/h.



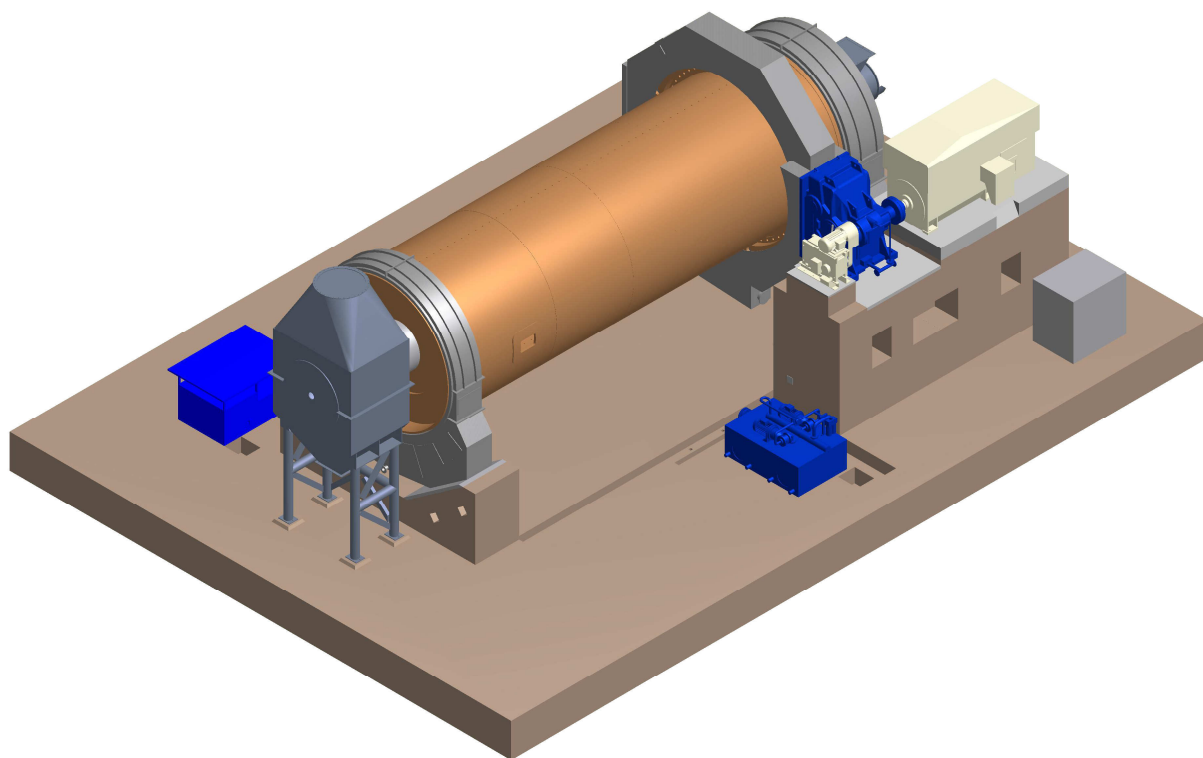
*Obr.15 Plášť troubového mlýna.*

K pohonu tohoto mlýna slouží převodovka DMGH 2-22 od firmy FLENDER poháněná motorem ABB o výkonu 4.000 kW (viz obr. 16) . Hlavním úkolem převodovky je snížení otáček, tzn. dokáže redukovat otáčky z hodnoty 993 ot/min (motor) na hodnotu 15 ot/min.



*Obr. 16 Převodovka s motorem.*

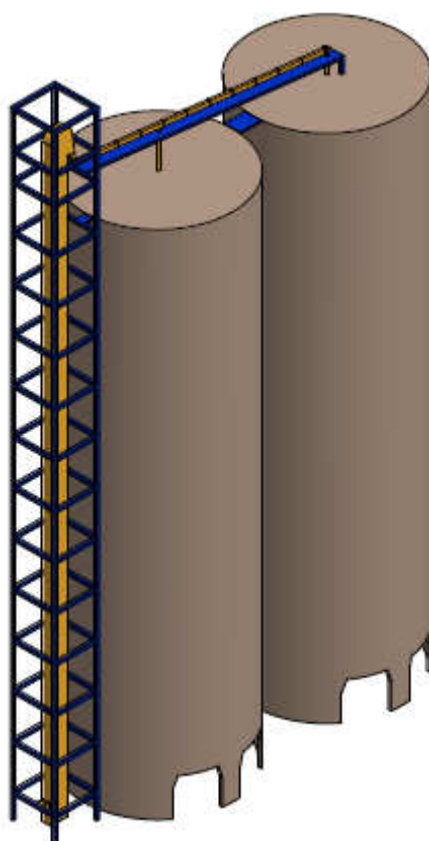
Pro snazší orientaci v problematice mletí je na obr. 17 znázorněn 3D model sestavy mlýna, převodovky, motoru a mazací stanice.



*Obr. 17 3D schéma mlýnice.*

### ***Doprava a skladování cementu (PS 32)***

Pro skladování cementu se používají cementová sila, která jsou zavážena korečkovým elevátorem. Běžně dodávané rozměry cementového sila jsou  $\varnothing 16 \times 58$  m přičemž jeho kapacita je 10.000 t. Vzhledem k vysoké produktivitě výroby je třeba zajistit dostatečné množství skladovacích prostor pro cement. Proto je vhodné do cementárny umístit minimálně dvě cementová sila o dané kapacitě. Soustava dvou sil s korečkovým elevátorem je znázorněna na obr 18. Součástí cementových sil je dávkovací zařízení pro plnění přepravních zásobníků umístěných na nákladních automobilech.



*Obr. 18 Cementová sila s korečkovým elevátorem.*

### ***Balírna cementu (PS 34)***

Posledním a neméně důležitým provozním souborem cementárny je balírna. Na základě požadavků zákazníka byla navržena balírna pro možnost paletizace pytlového cementu pro dvě nákladní auta současně.

V cementárně je samozřejmě mnohem více provozních souborů, než je v této práci zmíněno. Pro zjednodušení byly uvedeny nejvýznamnější z nich.



## 6 ZÁVĚR

Problematika výroby cementu je v současné době velmi populárním oborem, především díky zvyšující se výstavbě pozemních i dopravních staveb. Hlavním úskalím této problematiky je velmi vysoká finanční nákladnost pro případné výstavby nových cementáren.

V současnosti se nejvíce nových cementáren staví na Dálném východě a v Asii, kde je třeba začít s výstavbou celkové infrastruktury, převážně silnic a dálnic.

V této diplomové práci byl sestaven samostatný návrh cementárny, popsány veškeré důležité provozní soubory. Pro názornost jednotlivých teoretických i praktických pojmů týkajících se samotných technologických stojů a postupů byly vytvořeny dílčí počítačové modely, které pak sloužili k sestavení celkového 3D projektu cementárny.

Hlavním cílem práce bylo vytvoření 2D výkresu (viz Příloha 3) a 3D počítačového modelu (viz Příloha 4) celkové cementárny. Při tvorbě vlastního návrhu cementárny byl nejdříve sestaven 3D model výsledného závodu, z něhož se dále vycházelo při tvorbě 2D návrhu závodu (generelu).

Na základě 2D návrhu byly vytvořeny jednotlivé výrobní dokumentace provozních souborů, které mohou sloužit jako podklady pro konstrukční oddělení. Na jejich základě se zde nakreslí dokumentace pro výrobní stroje a zařízení.

Veškeré výsledky této diplomové práce mohou být použity jako skutečné podklady pro tvorbu nového projektu cementárny.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. ČSN EN 197-1. *Cement – část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití*. Praha. Český normalizační institut, 2001.
2. EN 196-1. *Metody zkoušení cementu-část 1: Stanovení pevnosti*. Praha. Český normalizační institut, 2005.
3. EN 196-2. *Metody zkoušení cementu – část 2: Chemický rozbor cementu*. Praha. Český normalizační institut, 2005.
4. Dinter, O. *Drcení a mletí*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1984.
5. Bárta, R. *Chemie a technologie cementu*. 1. vyd. Praha: ČSAV, 1961.
6. Dinter, O. *Úprava nerozstných surovin*. 2. vyd. Praha: SNTL, 1963.
7. sborník z konference CEMENT '97. *Vývoj rotačních pecí pro cementářské pecní linky s vysokou předkalcinací*.
8. **podnikové materiály firmy PSP/ENG.**
9. [www.lafarge.cz](http://www.lafarge.cz)
10. [www.pspeng.cz](http://www.pspeng.cz)

## SEZNAM PŘÍLOH

1. Mass flow diagram
2. Flow sheet provozního souboru cementová mlýnice (PS 29)
3. 2D výkres rozvržení závodu (generel)
4. 3D model celého závodu